**KOMPARASI KUAT TEKAN BETON GEOPOLIMERR BERBAHAN DASAR FLY ASH DENGAN METODE CURING OVEN DAN SUHU RUANG**

**Juandra Hartono1), Laely Fitria H2), Adityo Budi U3), Hinawan Teguh S4)**

*1,2,3,4)PoliteknikkPekerjaan Umum, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*

*email:* [*juandra.hartono@pu.go.id*](mailto:juandra.hartono@pu.go.id)*1),* [*laely.fh@pu.go.id2*](mailto:laely.fh@pu.go.id2)*),* [*adityobudiutomo@pu.go.id3*](mailto:adityobudiutomo@pu.go.id3)*), hteguhsantoso@gmail.com4)*

**Abstrak**

Penelitian ini mengkaji beton geopolimer yang diproduksi menggunakan fly ash dan bersumber dari hasil pembakaran batubara PLTU Tanjung Jati, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah, Indonesia. Fly Ash yang digunakan dikategorikan jenis F. Alkali aktivator berbentuk sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat (Na₂SiO₃) dengan molaritas (10M). Riset ini bertujuan mengetahui perbandingan kuat tekan maksimum binder dan beton geopolimer diumur 28 hari melalui 2 metode perawatan, dibiarkan didalam suhu ruangan dan di oven pada temperatur 60°C selama 24 jam. Rangkaian pengujian yang dilakukan berupa uji material fly ash metode X-Ray Flourence (XRF), slump, kuat tekan binder dan beton geopolimer. Perbandingan aktivator yang digunakan pada pengujian binder dan beton geopolimer adalah 1:2 dan 1:3. Hasil riset menunjukkan nilai kuat tekan binder dan beton maksimum umur 28 hari sebesar 37,48 Mpa dan 60,09 Mpa terdapat pada variasi binder 10-3CR (curing oven) dengan rasio perbandingan NaOH terhadap Na₂SiO₃ sebesar 1:3. Dari hasil analisa disimpulkan bahwa perawatan beton curing time 24 jam pada suhu 60°C memberikan kuat tekan maksimal dibandingkan dengan udara terbuka, hal ini disebabkan karena tipe material pembentuk fly ash proses hidrasinya sangat lambat, jika perawatan menggunakan oven maka proses hidrasi berlangsung lebih cepat sehingga tingkat kekerasan beton geopolimer akan lebih cepat pula. Disamping itu meningkatkan temperatur curing bisa mempercepat reaksi polimerisasi sehingga kuat tekan beton semakin meningkat akan tetapi pada suhu tertentu kuat tekan tersebut akan mengalami penurunan disebabkan sebagian air telah menguap sehingga kualitas beton geopolimer menjadi berkurang.

Kata kunci: *fly ash, geopolimer, sodium hidroksida, sodium silikat, curing time*

**Abstract**

This study discusses geopolymer concrete with fly ash material which source is from coal combustion in PLTU Tanjung Jati, Jepara, Central Java, Indonesia. The fly ash used is categorized as type F fly ash, while the alkaline activator is known as Sodium Hydroxide (NaOH) and Sodium Silicate (Na₂SiO₃) 24 jam molarity is 10 M. This study objection is to know the compressive strength comparison for geopolymer binder and concrete on the 28th day through two curing methods, that are left in the room temperature and using the oven on 60℃ temperature for 24 hours. The testing series for this study are fly ash material testing using X-Ray Fluorescence (XRF) testing method, slump test, and compressive strength test for geopolymer binder and concrete. The activator ratio used for this study is 1:2 and 1:3. Test results show the maximum compressive strength for each binder and concrete are 37,48 MPa and 60,09 MPa, both exist in 10-3 CR variant on the 28th day with activator ratio 1:3. The analysis concludes that the 24 hours curing time in the 60℃ temperature gives the maximum compressive strength to the concrete compared to the one that is left at room temperature. It happens because the fly ash-forming material has a very slow hydration process. While curing in the oven makes the hydration process goes faster so the hardness degree of geopolymer concrete will occur faster.

Keywords: *fly ash, geopolymer, sodium hydroxide, sodium silicate, curing time*

1. **Latar Belakang**

Permintaan beton sebagai bahan konstruksi terus meningkat seiring dengan perkembangan infrastruktur, terutama dinegara-negara berkembang seperti indonesia. Untuk memenuhi permintaan tersebut, produksi semen portland harus meningkat. Penggunaan semen portland dewasa ini sering mendapat kritikan, terutama dari mereka yang peduli dengan kelestarian ekologi, karena pelepasan gas rumah kaca (karbon dioksida) yang dihasilkan selama proses pembuatan beton. Secara keseluruhan, pembuatan ordinary portland cement (OPC) diseluruh dunia menyumbang 5-7% dari total pelepasan gas rumah kaca ke atmosfir (Saloni, Parveen, Yan Lim, *et al.*, 2021). Permasalahan diatas merupakan faktor pendorong para peneliti untuk mengkaji alternatif bahan lain yang dapat menggantikan peran semen dalam bahan campuran beton.

Beton ramah lingkungan (green concrete) saat ini menjadi tema utama dalam industri konstruksi. Upaya yang dapat dilakukan untuk menghindari pemakaian semen adalah dengan mengembangkan pembuatan beton geopolymer. Proses pembuatannya 100% tidak menggunakan semen portland. Bahan pengikat yang dapat dimanfaatkan bersumber dari pozzolan, antara lain fly ash, metakaolin, abu sekam atau bahan vulkanik (Davidovits, 2020). Dibeberapa tahun terakhir peneliti telah berfokus untuk mengeksplorasi bahan pengikat alternatif untuk OPC seperti abu sekam padi, fly ash dan terak (Saloni, Parveen, Lim, *et al.*, 2021).

Fly ash merupakan bahan utama pembuatan binder yang didapat dari sisa pembakaran batubara. Beton geopolimer dengan bahan dasar fly ash bukan terbentuk dari reaksi hidrasi seperti pada beton konvensional melainkan reaksi kimia (Davidovits, 2005). Pemilihan aktivator harus disesuaikan dengan campuran yang terkandung dalam fly ash, tujuannya agar terjadi reaksi kimia yang dapat mengikat agregat pembentuk beton. Aktivator yang sering digunakan adalah Na2SiO3 dan NaOH dengan konsentrasi antara 8M sampai 14M. Perbandingan Na2SiO3 dan NaOH bervariasi antara 0,4 sampai 2,5 (Hardjito *et al.*, 2004).

Pada tahun 1978, Joseph Davidovits mengembangkan bahan polimer anorganik dan menciptakan istilah "Geopolimer". Geopolimer berpotensi menggantikan beton semen portland biasa dan menghasilkan geopolimer berbasis fly ash beton dengan sifat fisik dan mekanik yang sangat baik. Geopolimer digunakan sebagai pengikat untuk sepenuhnya menggantikan semen portland biasa dalam memproduksi beton geopolimer.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan kuat tekan terbaik beton geopolimer dengan proporsi campuran dan variabel uji yang berbeda. Penelitian (Davidovits, 1994) menyatakan bahwa pada temperatur ruang beton geopolimer dapat mengeras dengan cepat. Kuat tekan yang didapat setelah 4 jam perawatan sebesar 20 Mpa pada temperatur 20°C sedangkan umur 28 hari dikisaran 70 – 100 Mpa. Hasil eksplorasi (Aleem, M.I.A, Arumairaj, 2012) terkait uji geopolimerrdengan proporsi campuran 1 fly ash, 1,5 pasir dan 3,3 agregat menggunakan campuran aktivator NaoH dan Na2SiO3 sebesar 0,35 dari berat fly ash dengan molaritas 10 M. Perawatan menggunakan metode steam pada temperatur 60°C selama 24 jam. Hasil pengujian kuatttekan umur 28 hari mencapai 53,33 Mpa. Hasil Riset (Manuahe, Sumajouw and Windah, 2014) menyatakan perlu dilakukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap variasi molaritas Sodium Hidroksida (NaOH) dan korelasi antara Sodium Silakat terhadap Sodium Hidroksida untuk memperoleh kuat tekan optimum, disamping itu perlu melakukan pengujian abu terbang dengan tipe yang berbeda sebagai solid material.

Berdasarkan referensi diatas penulis akan melakukan study eksperimental terkait beton geopolimer. Material utama yang dipakai adalah fly ash. Perbandingan aktivator NaOH terhadap Na2SiO3 sebesar (1:2 dan 1:3) dengan molaritas 10M. Untuk perawatan beton masing-masing menggunakan 2 variasi yaitu dibiarkan dalam suhu ruang dan *curing time* 24 jam pada suhu 60°C. Dari komposisi diatas akan didapatkan perbandinhgan kuat tekan maksimum binder dan beton geopolimer di umur 28 hari berdasarkan variasi aktivator dan metode perawatan.

Pengembangan inovasi beton geopolimer masih sedikit dilakukan di Indonesia. Oleh sebab itu riset ini perlu ditindaklanjuti. Keberhasilan riset ini diharapkan dapat menambah referensi terkait penggunaaan alternatif bahan pengganti semen yang ramah lingkungan dan dapat diaplikasikan di lingkungan masyarakat.

1. **Metode Penelitian**
2. **Tahapan Penelitian**

Fly ash merupakan bahan sumber alumino silikat yang digunakan untuk sintesis bahan pengikat geopolimer. Sumber fly ash berasal dari PLTU Tanjung Jati, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah, Indonesia. Penguraian komposisi kimia fly ash menggunakan metode X-Ray Fluorescence.

Aktivator alkali disiapkan di laboratorium. Untuk menghindari efek kontaminasi yang tidak diketahui, air suling digunakan untuk melarutkan Sodium Hidroksida. Aktivator alkali dibuat dengan mencampurkan larutan Sodium Hidroksida dengan larutan Sodium Silikat bersama-sama sebelum pencampuran mortar untuk memastikan reaktivitas larutan. Tujuan penambahan Sodium Silikat adalah untuk meningkatkan pembentukan prekursor geopolimer atau proses polimerisasi (H.Xu and Deventer, 2002).

Jenis pengujian yang akan dilaksanakan pada riset ini antara lain: Pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar, pengecekan fly ash dengan metode X-Ray Fluorescencee(XRF), test slump menggunakan kerucut abrams sesuai dengan ketentuan (ASTM-C39, 2010), tes kuat tekan binder dan beton geopolimer menggunakan mesin uji tekanndengan batas maksimum 2000 KN yang dilengkapai dengan CPU dan printer.

Perawatan binder dan beton geopolimer dilaksanakan dengan 2 cara yaitu dibiarkan didalam suhu ruang dan di dalam oven menggunakan pada temperatur 60°C selama 24 jam. Metode oven ini bertujuan agar mempercepat penguapan air pada waktu yang relatif singkat dan akurat. Kemudian beton dibiarkan hingga pengujian dilakukan.

Sebelum penelitian dimulai, telah dilaksanakan percobaan trial binder geopolimer menggunakan fly ash. Trial ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi alkalli yang akan digunakan pada mix desain beton geopolymer. Molaritas yang dipakai pada trial binder geopolimer sebesar 8M dan 10M dengan proporsi aktivator NaOH:Na2SiO3 sebesar 1:2 dan 1:3. Hasil percobaan didapat pencampuran fly ash dengan konsentrasi alkali 8M memberikan hasil yang terlalu encer. Dengan demikian maka konsenterasi alkali yang akan dipakai pada riset ini sebesar 10M. Secara umum mix desain binder dan beton geopolimer dapat dilihat pada diagram alir berikut.

Binder Geopolimer

Size 50 x 50 x 50 mm

74% Fly Ash

26% Alkali Aktivator

NaOH 10M

NaOH : Na2SiO3 = 1 : 2

NaOH : Na2SiO3 = 1 : 3

Gambar 1 Mix desain binder geopolymer

Beton Geopolimer

Size 150 x 300 mm

75% Agregat

25% Binder Geopolimer

26%

Alkali Aktivator

NaOH : Na2SiO3 = 1 : 2

NaOH : Na2SiO3 = 1 : 3

Agregat Kasar : Agregat Halus

2 : 1

74%

Fly Ash

NaOH 10M

Gambar 2 Mix desain beton geopolimer

`

1. **Variasi Binder dan Beton Geopolimer**

Pengujian kuat tekan binder dan beton geopolomer dilaksanakan pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari menggunakan 3 buah sampel uji untuk setiap campuran. Jumlah total sampel uji yang diperlukan adalah 24 buah. Variasi binder dan beton geopolimer terlihat pada tabel 1.

Tabel 1Variasi binder dan beton geopolimer

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kode Benda Uji** | **Perbandingan Aktivator NaOH : Na2SiO3** | **Perawatan Beton**  **(Curing)** |
| Binder10-2 UT | 1:2 | Udara terbuka |
| Binder10-3 UT | 1:3 | - |
| Beton10-2 UT | 1:2 | - |
| Beton 10-3 UT | 1:3 | - |
| Binder 10-2 CR | 1:2 | Oven temperatur 60°C selama 24 jam |
| Binder 10-3 CR | 1:3 | - |
| Beton 10-2 CR | 1:2 | - |
| Beton 10-3 CR | 1:3 | - |

1. **Pengujian Binder & Beton Geopolimer**

Sebagaimana ditunjukkan oleh (SNI 1974, 2011) yang dimaksud dengan kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur ketika ditumpuk dengan daya tekan tertentu. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekanan dengan limit 2000 KN. Metode pengujian Sebagian besar merupakan standar (ASTM C39/C39M, 2003). Kuat tekan setiap sampel uji dipengaruhi tegangan tekan paling tinggi (f’c) yang dicapai sampel uji pada umur 28 hari karena pengaruh beban tekan selama penyelidikan. Banyak parameter yang mempengaruhi kuat tekan beton termasuk sifat setiap bahan penyusunnya, faktor air semen (FAS) yang rendah serta kepadatan yang tinggi namun beton sangat kaku atau sulit dikerjakan (Sarkar *et al.*, 2016). Kuat tekan dapat ditentukan dengan kondisi berikut :

Sebagaimana ditunjukkan oleh (SNI 1974, 2011) yang dimaksud dengan kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur ketika ditumpuk dengan daya tekan tertentu. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekanan dengan limit 2000 KN

(1)



Keterangan :

σ = kuat tekan (N/mm2)

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang (mm2)

1. **Hasil dan Pembahasan**
   1. **Hasil Ujii Fly Ash**

Pemeriksaan Fly ash dilakukan di laboratorium Sucopindo dengan menggunakan metode uji X-Ray Flourence (XRF), tujuannya untuk menentukan jenis zat senyawa yang terdapat di dalam material *Fly Ash* tersebut. Metode *X-Ray Flourence* (XRF) adalah salah satu teknik analisis terbaik yang paling umum digunakan dalam memutuskan pengaturan senyawa yang berbeda dari berbagai jenis bahan, karena prosedur persiapan yang sederhana untuk dilakukan dan relatif cepat.

Tabel 2 Hasil uji bahan pembentuk *fly ash*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Kandungan Senyawa** | **Hasil Analisis (%)** |
| 1. | LOI | 1,11 |
| 2. | Aluminium trioxide (Al₂O₃) | 22,54 |
| 3. | Iron trioxide (Fe₂O₃) | 11,32 |
| 4. | Calcium Oxide (CaO) | 8,36 |
| 5. | Magnesium Oxide (MgO) | 3,87 |
| 6. | Sulfur trioxide (SO₃) | 1,27 |
| 7. | Kalium oxide (K₂O) | 1,82 |
| 8. | Silica dioxide (SiO₂) | 43,53 |
| 9. | Natrium oxide (Na₂O) | 4,47 |

Dari hasil uji fly ash, terlihat bahan pembentuk fly ash tertinggi ada pada unsur silikia, besi dan alumunia dengan kandungan unsur CaO sebesar 8,36 %. sesuaii(ACI Manual of Concrete Practice parts 1 226.3R-3, 1993) Fly ash yang mengandung CaO dibawah 10% yang berasal dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara dikategorikan sebagai fly ash kelas F. Diperkuat dengan klasifikasi dari (ASTM C-618-03, 2010) dimanaafly ash ± kelas F terdapat jumlah unsur alumunium, silikon dan besi yang lebih besar dari 70%, dalam pengujian ini, diamati bahwa kadar ketiga komponen ini lebih dari 70%.

* 1. **Hasil Uji Slump**

Teknik yang digunakan untuk mengetahui workability campuran beton adalah slump test. Semakin tinggi nilai slump berarti semakin tinggi workability beton karena lebih encer dan lebih mudah dibuat. Nilai slump yang lebih rendah disebabkan oleh setting time yang terjadi terlalu cepat, sehingga beton cukup sulit untuk dibuat. Nilai uji slump ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil uji slump

|  |  |
| --- | --- |
| **Variasi Beton** | **Nilai Slump [cm]** |
| Beton 10-2 | 11 |
| Beton 10-3 | 13 |

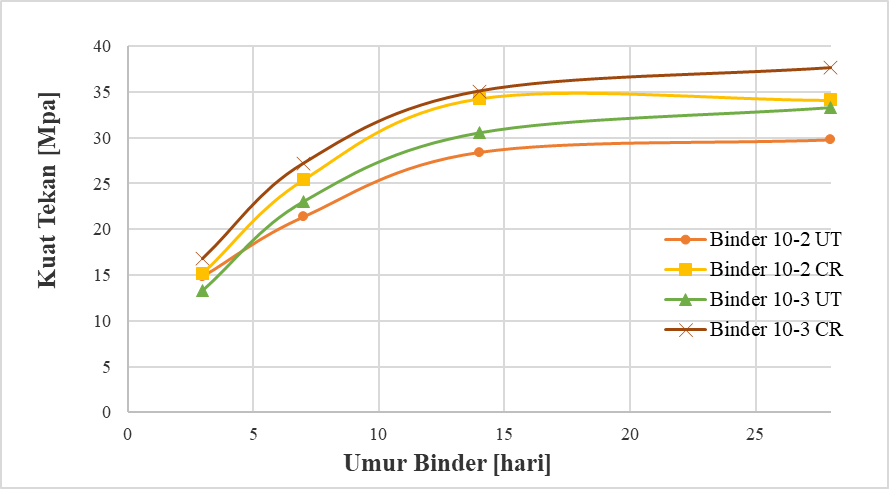
Hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi proporsi aktivator NaOH (sodium hidroksida) dan Na2SiO3 (sodium silikat) maka nilai slump semakin meningkat, ini berarti beton semakin mudah untuk dikerjakan. Penelitian (Barbosa, V.F.F, K.J.D. MacKenzie, 2000) menyatakan bahwa kadar air berperan penting dalam campuran betonngeopolimer, jumlah total kadar air dalam kombinasi adalah jumlah air dalam larutan NaOH ditambah massa air dalam larutan Na2SiO3 dan air yang ditambahkan selama pencampuran. Jadi semakin tinggi perbandingan aktivator yang digunakan dalam mix desain beton geopolimer menyebabkan peningkatan kebutuhan air dan mengakibatkan nilai slump menjadi tinggi.

1. **Hasil Uji Kuat Tekan Binder & Beton Geopolimer**

Berdasarkan hasil uji kuat tekan yang telah dilaksanakan dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus 50 x 50 x 50 mm (binder geopolimer) dan silinder ukuran 150 x 300 mm (beton geopolimer) dengan variasi perawatan pada suhu ruangan dan di oven pada temperatur 60°C selama 24 jam, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil uji kuat tekan binder geopolimer perbandingan aktivator 1:2 dan1:3

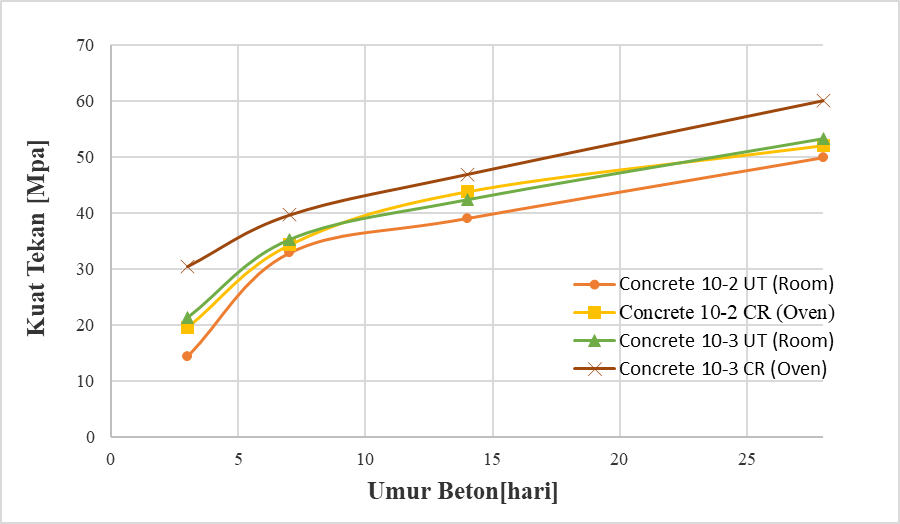
|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variasi Binder** | **Rasio Aktivator** | **Kuat Tekan Rata-Rata [MPa]** | | | |
| **3 hari** | **7 hari** | **14 hari** | **28 hari** |
| Binder 10-2 UT | 1:2 | 14,82 | 21,34 | 28,43 | 29,81 |
| Binder 10-2 CR | 1:2 | 15,21 | 25,40 | 34,29 | 34,12 |
| Binder 10-3 UT | 1:3 | 13,33 | 23,01 | 30,53 | 33,29 |
| Binder 10-3 CR | 1:3 | 16,82 | 27,19 | 35,08 | 37,62 |



Gambar 3 Kombinasi kuat tekan binder geopolimer

Tabel 5 Kombinasi kuat tekan beton geopolimer

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Variasi Beton** | **Metode Perawatan** | **Rasio Aktivator** | **Kuat Tekan Rata-Rata [MPa]** | | | |
| **3 hari** | **7 hari** | **14 hari** | **28 hari** |
| Beton  10-2 UT | Udara Terbuka | 1:2 | 14,28 | 32,81 | 39,02 | 49,91 |
| Beton  10-2 CR | Oven suhu 60℃ selama 24 jam | 1:2 | 19,56 | 34,27 | 43,80 | 52,03 |
| Beton  10-3 UT | Udara Terbuka | 1:3 | 21,32 | 35,21 | 42,33 | 53,21 |
| Beton  10-3 CR | Oven suhu 60℃ selama 24 jam | 1:3 | 30,46 | 39,65 | 46,92 | 60,09 |



Gambar 4 Kombinasi kuat tekan beton geopolimer

1. **Pembahasan dan Diskusi**

**3.3.1 Ditinjau Dari Perbandingan Aktivator**

Pada gambar 3 dan 4 ditampilkan hasil kuat tekan binder dan beton geopolimer berdasarkan variasi perbandingan aktivator NaOH : Na2SiO3 sebesar 1:2 dan 1:3 dengan jenis perawatan udara terbuka dan di oven pada temperatur 60℃ selama 24 jam. Terlihat bahwa variasi binder 10-3 CR dan beton 10-3 CR yang dirancang dengan susunan NaOH 10M memberikan kuat tekan tertinggi dibandingkan variasi lainnya. Penelitian (Provis, J. L., Yong, C. Z., Duxson, P., & van Deventer, 2009)) mengungkapkan peran NaOH dalam pengaturan formasi zeolite. Rangkaian Na2SiO3 dalam larutan aktivator sangat penting untuk meningkatkan kuat tekan, karena berfungsi mempercepat respon dalam rangkaian polimerisasi.

Jika beton memiliki Na2SiO3 dalam jumlah terbatas pada susunan larutan NaOH maka kuat tekan yang dicapai tidak maksimal. Rangkaian aktivator juga mempengaruhi workability saat pengecoran, jika larutan terlalu pekat pelaksanaan pengecoran menjadi sulit terutama saat pengadukan dan mengakibatkan penurunan kuat tekan (ASTM-C39, 2010).

Hasil riset(Palomo, Grutzeck and Blanco, 1999) mengatakan rasio larutan aktivator terhadap fly Ash bukan merupakan parameter yang relevan untuk meningkatkan kuat tekan beton polimer, ini berarti semakin besar perbandingan aktivator NaOH : Na2SiO3 yang digunakan dalam campuran akan meningkatkan kuat tekan beton geopolimer akan tetapi pada perbandingan tertentu kuat tekan akan mengalami penurunan jika perbandingan aktivator terlalu jauh.

**3.3.2 Ditinjau dari Curing Temperature**

Dari gambar 3 dan 4 terlihat bahwa kuat tekan maksimum terdapat pada variasi binder 10-3 CR dan beton 10-3 CR (di oven pada temperatur 60℃selama 24 jam) dengan molaritas NaOH 10M. Suhu perawatan diketahui mempengaruhi sifat dan kualitas geopolimer. Tipe material pembentuk (*fly ash*) proses hidrasinya sangat lambat, jika perawatan menggunakan oven maka proses hidrasi akan berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan perawatan pada suhu ruang sehingga tingkat kekerasan beton geopolimer akan lebih cepat pula.

Berdasarkan penelitian (Palomo, Grutzeck and Blanco, 1999) mengenai pengaruh curing dari berbagai temperatur kisaran 35-60°C dengan prekursor fly ash, dikatakan bahwa dengan naiknya temperatur, respons polimerisasi terjadi lebih cepat dan menghasilkan kuat tekan yang meningkat. Berbeda dengan riset dari (Hardjito, Cheak and Lee Ing, 2008) mengungkapkan bahwa temperatur perawatan yang lebih tinggi tidak menjamin kuat tekan yang lebih tinggi pada umur 28 hari, namun jika suhu curing meningkat kuat tekan awal akan meningkat pula.

Hasil mortar geopolimer yang diawetkan pada suhu curing di atas 70°C akan mengakibatkan penurunan kuat tekan selama 24 jam perawatan. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu perawatan memainkan peran penting dalam proses geopolimerisasi mortar geopolimer berbahan dasar fly ash. (Davidovits, 2005) menyatakan bahwa perawatan yang lebih lama akan menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Berdasarkan uraian diatas dapat dipastikan bahwa peningkatan temperatur curing dapat mempercepat respon polimerisasi sehingga kuat tekan binder dan beton geopolimer akan semakin tinggi, namun pada suhu tertentu kuat tekan tersebut akan mengalami penurunan dikarenakan sebagian air sudah menguap sehingga kualitas beton geopolymer menjadi berkurang.

1. **Kesimpulan dan Saran**
   1. **Kesimpulan**

Perawatan beton yang berbeda-beda akan berpengaruh terhadap kekuatan beton yang dihasilkan, berdasarkan hasil pengujian disimpulkan bahwa perawatan beton dengan temperatur 60°C selama 24 jam dapat memberikan kuat tekan maksimal dibandingkan dengan perawatan beton pada udara terbuka, hal ini disebabkan karena tipe material pembentuk (fly ash) proses hidrasinya sangat lambat, jika perawatan menggunakan oven maka proses hidrasi akan berlangsung lebih cepat sehingga tingkat kekerasan beton geopolimer akan lebih cepat pula.

Temperatur curing memegang peranan penting dalam proses geopolimerisasi, artinya suhu curing terlalu tinggi tidak menjamin kuat tekan yang lebih tinggi pada umur 28 hari akan tetapi jika suhu curing meningkat kuat tekan awal akan meningkat pula.

* 1. **Saran**

Diperlukan pemeriksaan lebih lanjut mengenai variasi molaritas Natrium Hidroksida (NaOH) dan proporsi Natrium silikat yang lebih tinggi terhadap Natrium Hidroksida untuk mendapatkan titik puncak optimum beton geopolimer sebelum kuat tekan mengalami penurunan. Larutan NaOH dengan panas tinggi mencapai 97⁰C dalam jumlah yang sangat besar menyebabkan kesulitan pada sistem pencampuran sehingga terkadang terjadi endapan sebagai tanda NaOH tidak terlarut sempurna. Pentingnya strategi atau prosedur untuk membuat larutan NaOH dalam jumlah banyak. Beton geopolimer ini sangat sulit dilakukan di lapangan karena setting time yang sangat cepat. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan tambah untuk menghambat terjadinya pengikatan awal.

**Ucapan Terima Kasih**

Sebagai wujud penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan jurnal ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Direktur Politeknik Pekerjaan Umum, Dosen Politeknik Pekerjaan Umum dan Team Lapangan yang telah membantu dalam proses penelitian ini.

**Daftar Kepustakaan**

ACI Manual of Concrete Practice parts 1 226.3R-3 (1993), *Standard Practice for Selecting Propertions for Normal, Heavy, Weight and Mass Concrete*. Washington, D.C.

Aleem, M.I.A, Arumairaj, P. . (2012) ‘Optimum Mix for Geopolymer Concrete’, *Indian Journal Of Science and Technology*, Volume 5, (Number 3).

ASTM-C39 (2010), *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete*, *Annual Book of ASTM Standards*.

ASTM C-618-03 (2010), *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use*, *Annual Book of ASTM Standards*.

ASTM C39/C39M (2003), *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1*, *ASTM Standard Book*.

Barbosa, V.F.F, K.J.D. MacKenzie, dan C. T. (2000), ‘Sythesis Characterisation of Material Based on Inorganic Polymmers of Alumina dan Silica: Sodium Polysialate Polimers’, *Journal of Inorganic Material, Vol. 2. No 4. Hal 309-317*, Vol. 2(No 4), pp. 309–317.

Davidovits, J. (1994), ‘Properties of Geopolymer Cements’, *First International Conference on Alkaline Cements and Concretes*, pp. 131–149.

Davidovits, J. (2005), ‘Geopolymer chemistry and sustainable development. The Poly (sialate ) terminology : a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry.’, *Geopolymer chemistry and sustainable Development.*, (July 2005).

Davidovits, J. (2020), *Geopolymer Chemistry and Applications. 5-th edition*, *J. Davidovits.–Saint-Quentin, France*.

H.Xu and Deventer, J. V. (2002), *The geopolymerisation of alumino-silicate minerals*, *International journal of mineral processing*.

Hardjito, D. *et al.* (2004) ‘Factors influencing the compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete’, *Civil Engineering* 6(2), pp. 88–93.

Hardjito, D., Cheak, C. C. and Lee Ing, C. H. (2008) ‘Strength and Setting Times of Low Calcium Fly Ash-based Geopolymer Mortar’, *Modern Applied Science*, 2(4). doi: 10.5539/mas.v2n4p3.

Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J. and Windah, R. S. (2014) ‘Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash)’, *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), pp. 277–282.

Palomo, A., Grutzeck, M. W. and Blanco, M. T. (1999) ‘Alkali-activated fly ashes: A cement for the future’, *Cement and Concrete Research*, 29(8), pp. 1323–1329. doi: 10.1016/S0008-8846(98)00243-9.

Provis, J. L., Yong, C. Z., Duxson, P., & van Deventer, J. S. (2009) ‘Correlating mechanical and thermal properties of sodium silicate-fly ash geopolymers’, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.*, 336(1-3)(57–63).

Saloni, Parveen, Yan Lim, Y., *et al.* (2021) ‘Influence of Portland cement on performance of fine rice husk ash geopolymer concrete: Strength and permeability properties’, *Construction and Building Materials*, 300(July). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124321.

Saloni, Parveen, Lim, Y. Y., *et al.* (2021) ‘Sustainable alkali activated concrete with fly ash and waste marble aggregates: Strength and Durability studies’, *Construction and Building Materials*, 283(March). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122795.

Sarkar, A. *et al.* (2016) ‘Compressive Strength of Sustainable Concrete Combining Blast Furnace Slag and Fly Ash’, p. 4.

SNI 1974 (2011) *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.